VITESSE DU SON DANS L'AIR

1 But

Cette expérience[1] a pour but de mesurer la vitesse du son dans l'air à l'aide de la résonance dans un tuyau *fermé*, c.-à-d. ouvert seulement à une extrémité. Vous pouvez trouver de l'information sur les sujets sous-jacents (vitesse du son, ondes longitudinales stationnaires, résonance dans un tube, etc.) dans votre manuel. Le principe de base est semblable à celui du laboratoire "Ondes stationnaires", sauf qu'il s'agit ici d'ondes *longitudinales*, plutôt que d'ondes *transversales*.

2 Matériel

Le montage expérimental consiste en un long tuyau avec un piston mobile et une source de fréquence connue (diapason, ou haut-parleur branché à un générateur de fréquences). La longueur de la colonne d'air dans le tuyau est variée en bougeant le piston aux positions où les ondes stationnaires se produisent.

3 Théorie

Nous supposons ici que la vitesse du son, v, est définie en termes de sa fréquence f et de sa longueur d'onde λ par la relation:

$$v = \lambda f. \tag{1}$$

La longueur d'onde λ peut être déterminée expérimentalement à l'aide d'ondes stationnaires, c.-à-d. lorsqu'on entend le tuyau résoner avec une *intensité sonore maximale*, quand sa longueur est appropriée (voir Figure 1).

[1] Adapté de "Experiment 8 - Speed of Sound in Air" *Physics Laboratory Manual- Phys 124/126,* Department of Physics, University of Alberta.

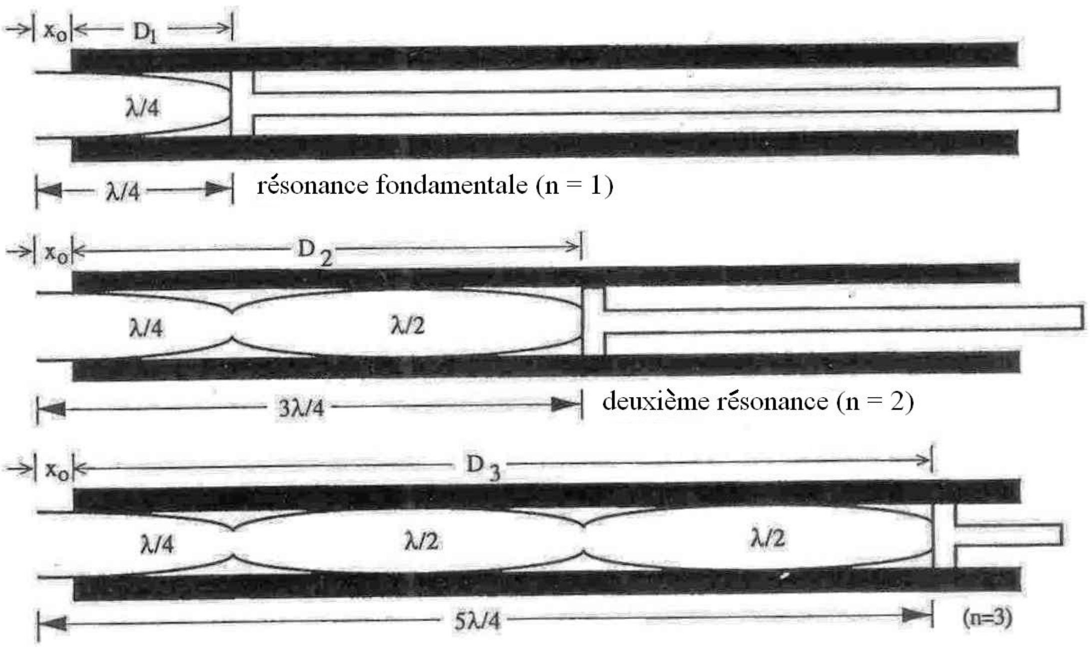

Figure 1: Distances successives pour les ondes stationnaires dans un tuyau fermé.

Pour une onde sonore d'une fréquence donnée (par exemple, par un diapason), la longueur d'onde sera fixe et une onde stationnaire sera établie seulement pour des longueurs de tuyau spécifiques, tel qu'illustré à la Figure 3. Pour une longueur d'onde donnée λ, ces résonances sont établies quand la longueur L_n de la colonne d'air est un *multiple impair de quarts de la longueur d'onde*[2] :

$$L_n = (2n-1)\frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \cdots \qquad n = 1, 2, 3, ... \tag{2}$$

Remarquez qu'en pratique, la longueur totale L_n d'une colonne d'air est plus grande que la longueur D_n de la chambre d'air à l'intérieur du tuyau parce que le centre du ventre à l'extrémité ouverte est situé à l'extérieur du tuyau d'une distance x_0. De la Figure 1, nous voyons que le décalage x_0 est tel que que

$$L_n = D_n + x_0. \tag{3}$$

Dans un cas idéal, le terme de correction x_0 ne dépend pas de l'ordre de résonance n ni de la fréquence f.

À l'aide des équations (1) et (3), nous pouvons exprimer D_n en termes de la vitesse v

[2]Remarque: ici, les modes seront donc numérotés $n = 1, 2, 3, \cdots$ alors que dans le cours, nous numérotons ces mêmes modes $n = 1, 3, 5, \cdots$ Peu importe la numérotation utilisée, les longueurs de tuyau possibles sont $L = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \cdots$

et de la fréquence f pour des résonances successives n:

$$D_n = (2n-1)\frac{v}{4f} - x_0 \qquad\qquad n = 1, 2, 3, \cdots \tag{4}$$

autrement dit,

$$D_1 = \frac{v}{4f} - x_0,\ D_2 = \frac{3v}{4f} - x_0,\ D_3 = \frac{5v}{4f} - x_0, \cdots$$

En mesurant la distance de la chambre à air D_n pour différentes valeurs de n et à différentes fréquences f, un graphique peut être tracé à partir de l'équation (4) linéarisée, et ainsi déterminer la vitesse du son v et le terme de correction inconnu x_0.

3.1 Questions préliminaires

(Insérez vos réponses dans la section *Analyse des résultats* de votre rapport.)

1. Linéarisez l'équation (4) de sorte que le graphique aura la forme $y = mx+b$. Si l'équation (4) décrit D_n en fonction de n, identifiez les quantités physiques qui correspondent à x, à y, à la pente m et à l'ordonnée à l'origine b.
2. À l'aide de votre réponse à la question 1, exprimez v et x_0 en termes de la pente m et de l'ordonnée b.
3. En termes de la longueur d'onde λ, quelle est la distance entre deux noeuds successifs? Autrement dit, de combien faut-il changer la longueur du tuyau pour passer d'une résonance donnée à la résonance suivante?
4. Expliquez brièvement pourquoi il doit y avoir un noeud à l'extrémité fermée du tuyau.
5. Déterminez le rapport L_2/L_1 pour les deux premières résonances $n = 1, 2$, pour un tuyau fermé comme ici.
6. Si un tuyau était *fermé aux deux extrémités* (avec une source sonore à l'intérieur), quel serait le rapport L_2/L_1 pour les deux premières résonances? Dessinez le patron de l'onde stationnaire pour L_1 et pour L_2.

4 Manipulations

Vous utiliserez un long tuyau muni d'un piston mobile ainsi qu'un diapason de fréquence connue. Vous pourrez varier la longueur de la colonne d'air en déplaçant le piston aux positions des ondes stationnaires, c-à-d. aux résonances. Une échelle sur le tuyau vous permettra de mesurer la longueur de la colonne d'air.

1. Un maillet en caoutchouc vous servira à frapper *doucement* le diapason, qui vibrera alors à sa fréquence fondamentale, indiquée sur le diapason. Ne le frappez pas trop fort car il produirait aussi le premier harmonique, de fréquence $2f$ (à un octave plus élevé que le mode fondamental du diapason), faussant ainsi vos résultats.

2. Frappez le diapason et tenez-le près de l'ouverture du tuyau, tout en déplaçant le piston dans le tuyau. Pour certaines longueurs du tuyau, une résonance (un son fort) sera entendue. Pour chaque diapason, obtenez ainsi les longueurs D_1, D_2, et D_3, illustrées à la Figure 3. Si la fréquence fondamentale du diapason est la seule présente, les longueurs D_n seront dans un rapport de 1:3:5.

3. Mesurez le diamètre intérieur du tuyau. Le rayon R du tuyau sera relié au décalage x_0.

4. Mesurez aussi la température du laboratoire, proche de l'ouverture du tuyau. Elle est reliée à la vitesse du son dans le tuyau.

5 Analyse des résultats

1. Faites un tableau de vos données pour f, n, D_n. Au besoin, vous y ajouterez des colonnes pour inclure les variables calculées. Vous y identifierez aussi les variables x et y de la droite $y = mx + b$.

2. Tracez le graphique linéaire suggéré par vos réponses aux questions 1 et 2 de la section 2.1.1.

3. Déterminez les valeurs expérimentales pour la vitesse du son v_{exp} et le facteur de correction $x_{0\,\mathrm{exp}}$ à partir de votre graphique.

4. La vitesse du son v_0 dans l'air sec à 0 °C (273.15 K) est 331.3 m/s. Elle augmente avec la température; nous utiliserons un facteur de correction pour calculer la vitesse théorique du son $v_{\text{théo}}$ en fonction de la température T (en degrés K):

$$v = (331.3 \text{ m/s}) \sqrt{\frac{T}{273.15}} \qquad (T \text{ en K}) \tag{5}$$

   Utilisez votre mesure de T pour calculer la vitesse théorique du son $v_{\text{théo}}$.

5. Comparez les deux valeurs de vitesse, v_{exp} et $v_{\text{théo}}$. Quel est le pourcentage d'écart entre vos deux valeurs? On ne demande *p*as de calcul d'erreur.

6. Un calcul théorique montre que x_0 est relié approximativement au rayon intérieur du tuyau, R, par la relation

$$x_{0,\text{théo}} \approx 0.6R. \tag{6}$$

Comparez cette valeur théorique $x_{0,\text{théo}}$ à votre valeur expérimentale $x_{0,\text{exp}}$. Quel est le pourcentage d'écart entre vos deux valeurs? On ne demande *p*as de calcul d'erreur.